

EXCAVACIONES SUBTERRANEAS EN AMBIENTES DE ALTOS ESFUERZOS Y ESTALLIDOS DE ROCAS

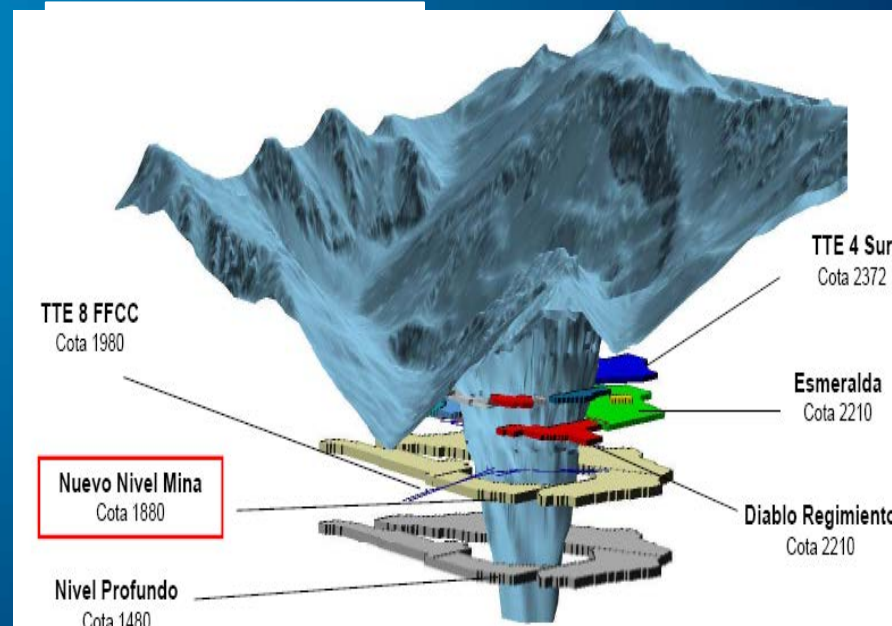
VICTOR BARRERA SEPULVEDA
Director PA&G Mining SpA





REFUERZOS EN LABORES SUBTERRANEAS

- Menor a 400 mts desde Superficie.
(Fortificación tradicional)
- Entre los 400 a 700 mts desde la superficie. (Tradicional + Dinámica)
- Mas de 700 mts desde la superficie.
(Tratamiento del Macizo Rocoso)





REFUERZOS EN LABORES SUBTERRANEAS, SISTEMAS DE CLASIFICACION:

- **METODO GSI**
- **METODO MRMR**
- **METODO Q**
- **METODO MRM**
- **METODOS CALIFICACION GEOTECNICA**

METODO GSI

RMS es la “estructura del macizo rocoso”, definida en términos de su blocosidad y grado de trabazón.

JC es la condición de las estructuras (discontinuidades) presentes en el macizo rocoso.

La evaluación del índice *GSI* se hace por comparación del caso que interesa con las condiciones típicas que se muestran en Figura 1 y este índice puede variar de 0 a 100, lo que permite definir 5 clases de macizos rocosos:

- Macizos de calidad *Muy Mala* ($0 \leq GSI \leq 20$)
- Macizos de calidad *Mala* ($20 < GSI \leq 40$)
- Macizos de calidad *Regular* ($40 < GSI \leq 60$)
- Macizos de calidad *Buena* ($60 < GSI \leq 80$)
- Macizos de calidad *Muy Buena* ($80 < GSI \leq 100$).

Respecto a la precisión de la calificación del macizo rocoso mediante el índice *GSI*, puede considerarse lo siguiente:

Calidad Muy Buena:	$80 \leq GSI < 100$	→	$\Delta GSI \approx \pm 5$
Calidad Buena:	$60 \leq GSI < 80$	→	$\Delta GSI \approx \pm 5$
Calidad Regular:	$40 \leq GSI < 60$	→	$\Delta GSI \approx \pm 5$
Calidad Mala:	$20 \leq GSI < 40$	→	$\Delta GSI \approx \pm 6$
Calidad Muy Mala:	$0 \leq GSI < 20$	→	$\Delta GSI \approx \pm 8$

INDICE DE RESISTENCIA GEOLOGICA MACIZOS ROCOSOS FRACTURADOS (Marinos & Hoek (2000))		CONDICION DE LAS ESTRUCTURAS				
Estime el valor típico de <i>GSI</i> considerando el tipo de roca, la estructura del macizo rocoso, y la condición de las discontinuidades.		<p>NO trate de ser demasiado preciso. De hecho, el considerar $33 \leq GSI \leq 37$ es más realista que considerar $GSI = 35$. Note que esta tabla NO es aplicable a problemas con control estructural. Si hay estructuras desfavorablemente orientadas, ellas controlarán el comportamiento del macizo rocoso.</p> <p>En aquellos casos en que la resistencia al corte de las estructuras podría ser afectada por la humedad, deberá considerarse la eventual presencia de agua. Esto puede hacerse “desplazando hacia la derecha” el rango estimado para <i>GSI</i>.</p> <p>La presión del agua no se considera al evaluar el rango de <i>GSI</i>, ya que la misma se incorpora posteriormente en los análisis geotécnicos, los que se desarrollan considerando esfuerzos efectivos.</p>				
ESTRUCTURA DEL MACIZO		MUY BUENA Muy rugosas, cajas frías o no interperforadas	BUENA Rugosas, cajas ligeramente interperforadas y algo oxidadas.	REGULAR Lisas, cajas moderadamente interperforadas y algo oxidadas	MALA Pulidas, cajas perforadas, con pértigas o con rellenos y/o fragmentos angulosos	MUY MALA Pulidas, cajas muy mecanizadas, con pértigas o con rellenos de arcilla blanca
		DISMINUYE LA CALIDAD →				
	INTACTA o MASIVA Protejas de roca intacta. Macizos masivos o con pocas y muy espaciadas estructuras.	90			N/A	N/A
	BLOCOSA Macizos con 3 sets de estructuras, que definen bloques cúbicos, bien trabados entre sí.	80			50	40
	MUY BLOCOSA Macizos con 4 sets de estructuras, o más, que definen bloques angulosos y trabados, pero que están paralelamente perforados.	70				30
	BLOCOSA VETEADA Macizos pegados y con bloques angulosos formados por la interacción de muchas estructuras. Los planos de estratificación y/o esquistosidad son perpendiculares.	60				20
	DESINTEGRADA Macizo fuertemente fracturado, con una mezcla de bloques angulosos y redondeados, pobremente trabados.					10
	LAMINADA / CIZALLADA Macizo con planos débiles (rizado y/o esquistosidad), muy poco espaciados entre sí y que no definen bloques.	N/A	N/A			

METODO Q

Definiciones:

El método de clasificación de Barton et al. (1974) se desarrolló para estimar la fortificación de túneles en función del índice Q de calidad geotécnica, definido como:

$$Q = \left(\frac{RQD}{J_n} \right) \times \left(\frac{J_r}{J_a} \right) \times \left(\frac{J_w}{SRF} \right) \quad (1)$$

donde el primer cociente corresponde a una estimación del tamaño de los bloques que conforman el macizo rocoso, el segundo cociente corresponde a una estimación de la resistencia al corte entre bloques, y el tercer cociente representa lo que Barton et al. (1974) denominan esfuerzo "activo". Los parámetros que definen estos cocientes son:

RQD es la designación de la calidad de la roca definida por Deere et al. (1967), que puede variar de 0 (macizos rocosos de muy mala calidad) a 100 (macizos rocosos de excelente calidad).

J_n es un coeficiente asociado al número de sets de estructuras presentes en el macizo rocoso (Joint Set Number), que puede variar de 0.5 (macizo masivo o con pocas estructuras) a 20 (roca totalmente disgregada o triturada).

J_r es un coeficiente asociado a la rugosidad de las estructuras presentes en el macizo rocoso (Joint Roughness Number), que puede variar de 0.5 (estructuras planas y pulidas) a 5 (estructuras poco persistentes espaciadas a más de 3 m).

J_a es un coeficiente asociado a la condición o grado de alteración de las estructuras presentes en el macizo rocoso (Joint Alteration Number), que puede variar de 0.75 (vetillas selladas en roca dura con rellenos resistentes y no degradables) a 20 (estructuras con rellenos potentes de arcilla).

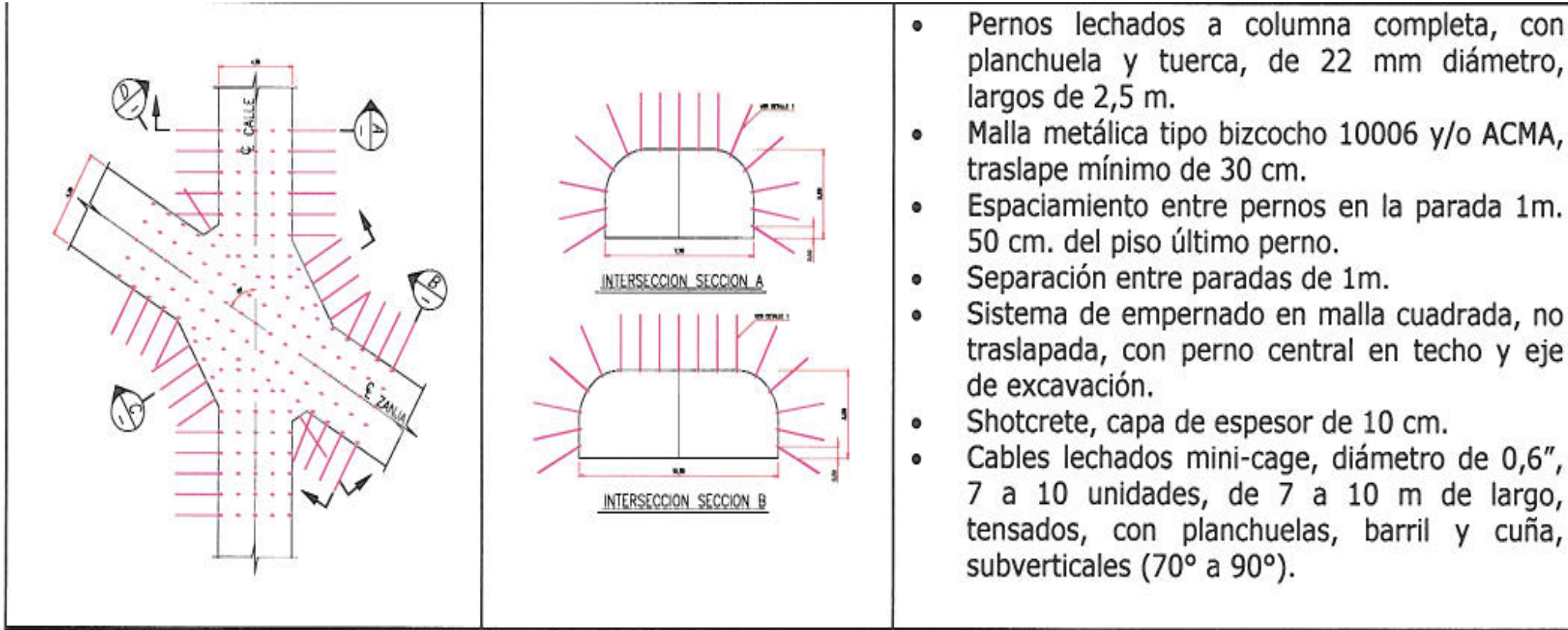
J_w es un coeficiente asociado a la condición de aguas en las estructuras presentes en el macizo rocoso (Joint Water Reduction Factor), que puede variar de 0.05 (flujo notorio de aguas permanente o que no decae en el tiempo) a 1 (estructuras secas o con flujos mínimos de agua).

SRF es un coeficiente asociado al posible efecto de la condición de esfuerzos en el macizo rocoso (Stress Reduction Factor), que puede variar de 0.05 (concentraciones importantes de esfuerzos en roca competente) a 400 (potencial ocurrencia de estallidos de roca).

Respecto a la precisión de la calificación del macizo rocoso mediante el índice Q , lo siguiente:

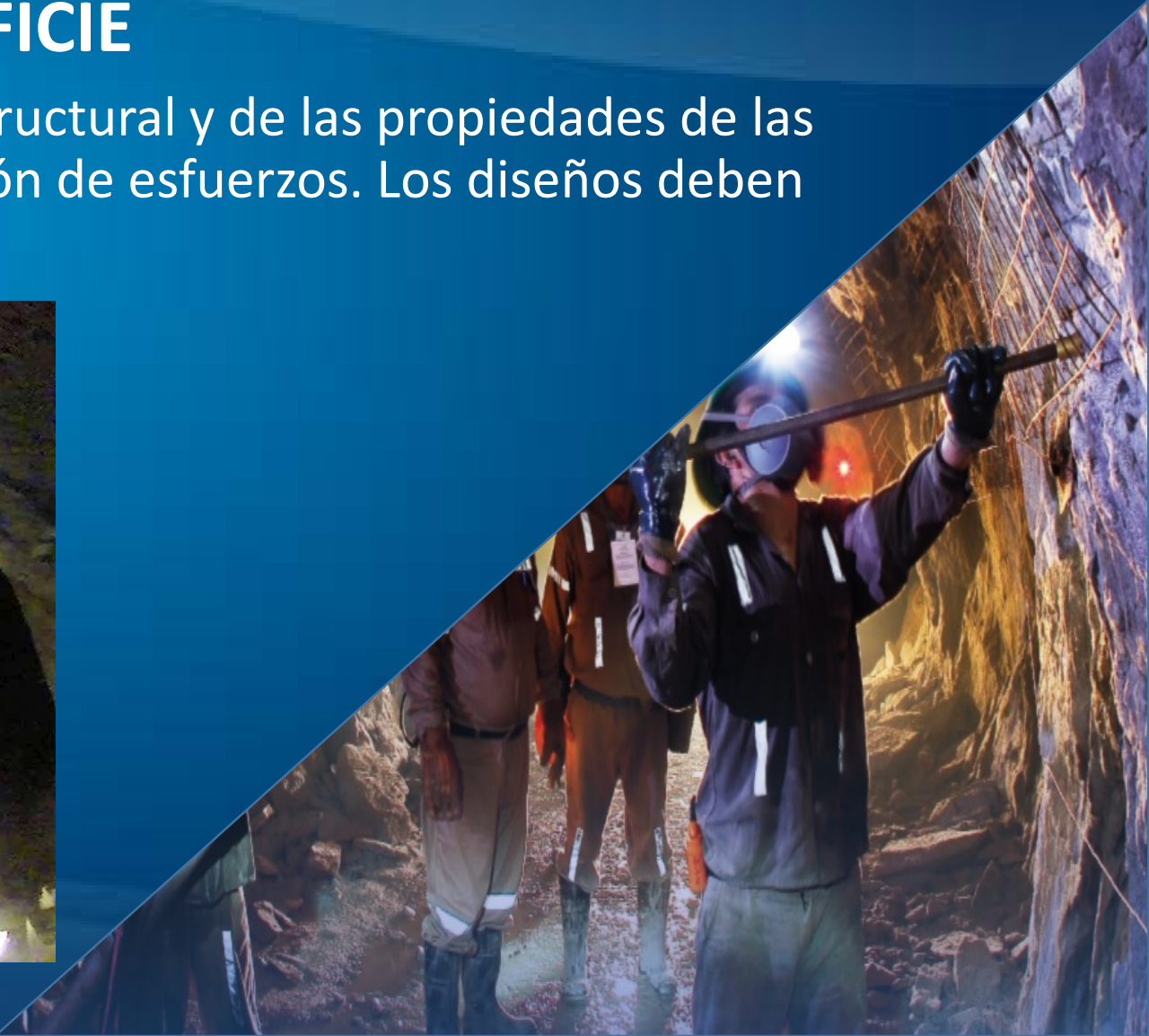
Calidad Excepcionalmente Buena:	$400 \leq Q < 1000$	\rightarrow	$\Delta Q \approx \pm 100$
Calidad Extremadamente Buena:	$100 \leq Q < 400$	\rightarrow	$\Delta Q \approx \pm 40$
Calidad Muy Buena:	$40 \leq Q < 100$	\rightarrow	$\Delta Q \approx \pm 8$
Calidad Buena:	$10 \leq Q < 40$	\rightarrow	$\Delta Q \approx \pm 3$
Calidad Regular:	$4 \leq Q < 10$	\rightarrow	$\Delta Q \approx \pm 1.5$
Calidad Mala:	$1 \leq Q < 4$	\rightarrow	$\Delta Q \approx \pm 0.3$
Calidad Muy Mala:	$0.1 \leq Q < 1$	\rightarrow	$\Delta Q \approx \pm 0.01$
Calidad Extremadamente Mala	$0.01 \leq Q < 0.1$	\rightarrow	$\Delta Q \approx \pm 0.005$
Calidad Excepcionalmente Mala	$0.001 \leq Q < 0.01$	\rightarrow	$\Delta Q \approx \pm 0.0005$

FORTIFICACION LABORES SUTERRANEAS



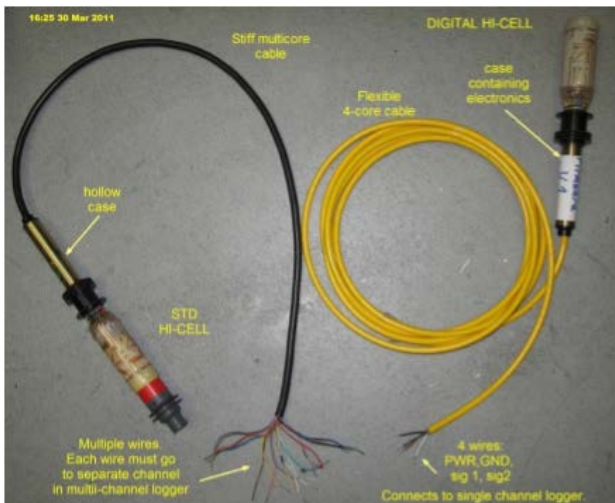
PARA LABORES QUE DEBEN DESARROLLARSE A MAS DE 400 METROS DESDE LA SUPERFICIE

Además de una buena caracterización estructural y de las propiedades de las rocas, toma especial relevancia la condición de esfuerzos. Los diseños deben considerar las sollicitaciones dinámicas .

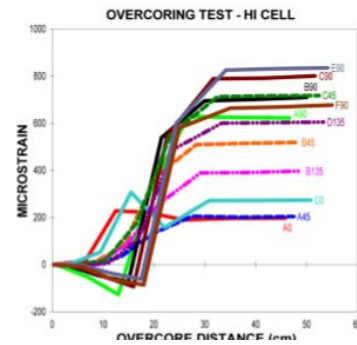


AQUÍ SE HACE NECESARIO MEDIR LA CONDICIÓN DE ESFUERZOS Y SU RESPUESTA SISMICA

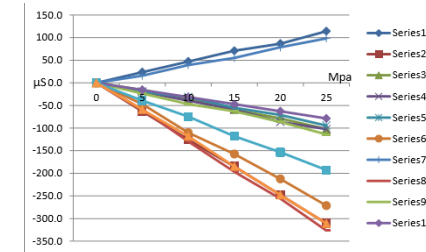
MEDICIONES DE ESFUERZOS CON TECNOLOGIA HOLLOW INCLUSION



USO DE EQUIPOS Y TECNOLOGIA DE ULTIMA GENERACION:
CELDA DIGITALES
CAMARA BIAIXIAL (Obtención de parámetros elásticos de la roca)



TEST BIAIXIAL

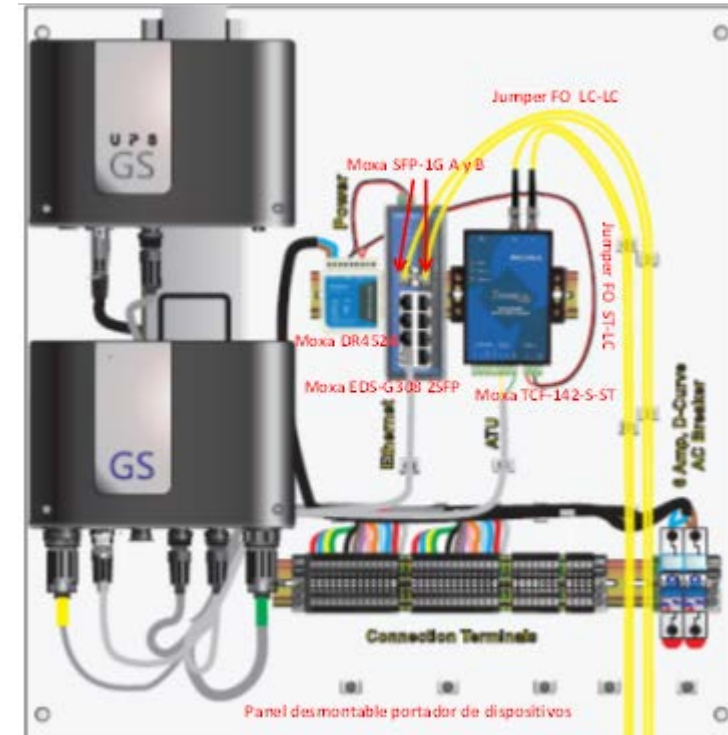


AQUÍ SE HACE NECESARIO MEDIR LA CONDICIÓN DE ESFUERZOS Y SU RESPUESTA SISMICA

SISTEMA DE MONITOREO MICROSISMICO SUBTERRANEO



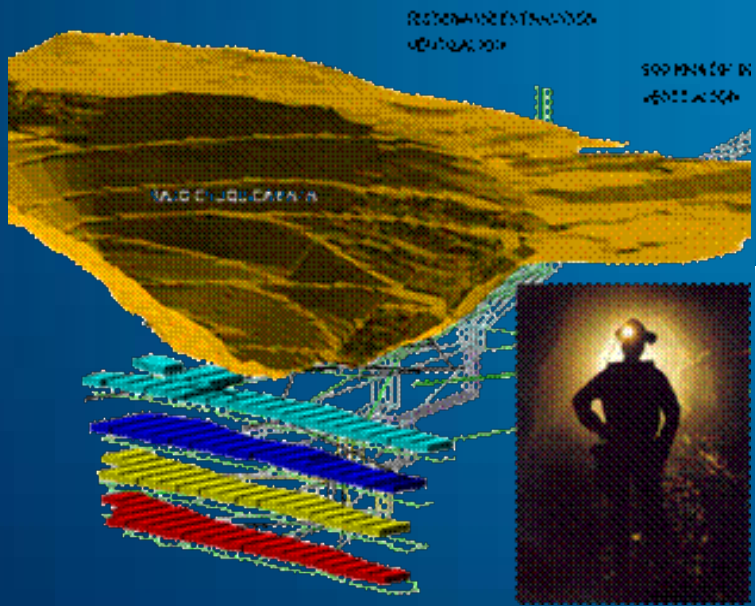
Estación microsísmica subterránea IMS



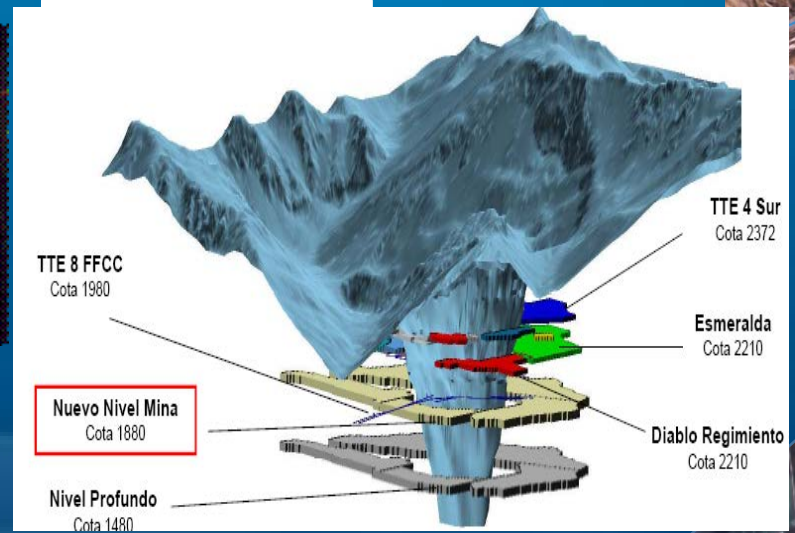
Identificación de Componentes Dentro de una Estación Microsísmica.
(Diagrama entregado por IMS).

PARA LABORES QUE DEBEN DESARROLLARSE A MAS DE 800 o 1000 METROS DESDE LA SUPERFICIE

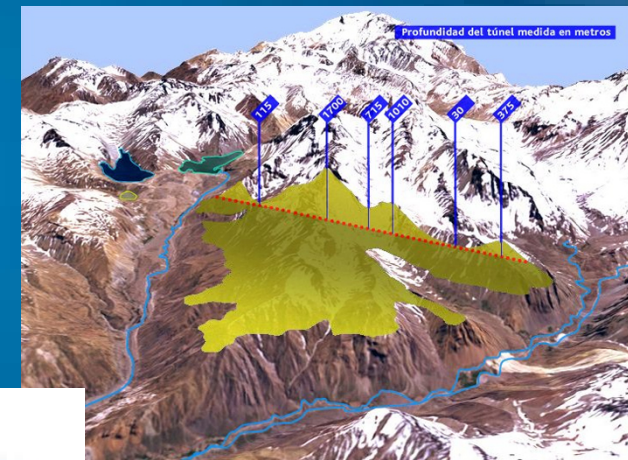
La profundización de los yacimientos, o nuevos proyectos profundos.
Chuqui-Subte – Teniente NNM – Hidroeléctrica Alto Maipo.



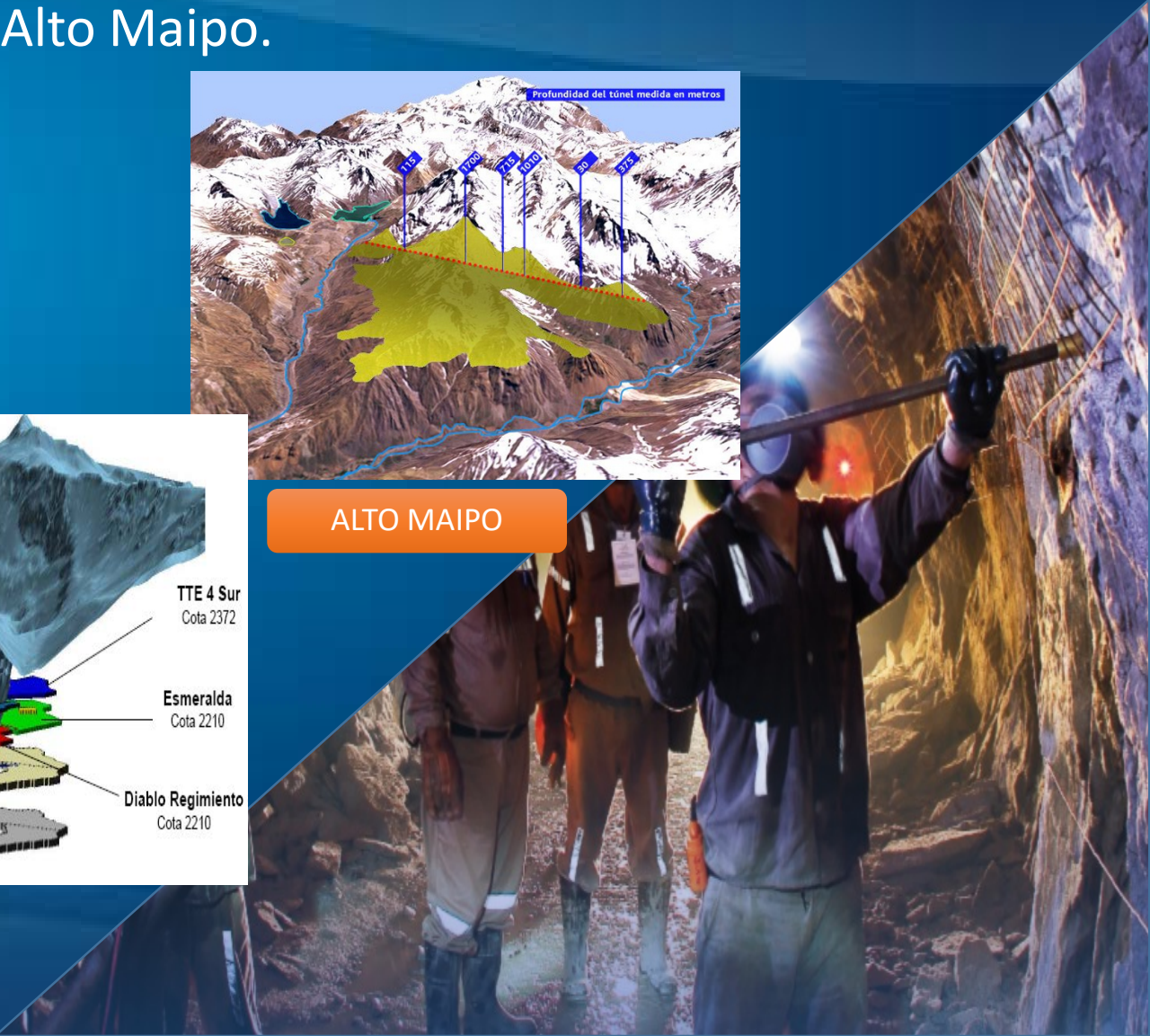
MINA CHUQUICAMATA



MINA EL TENIENTE



ALTO MAIPO

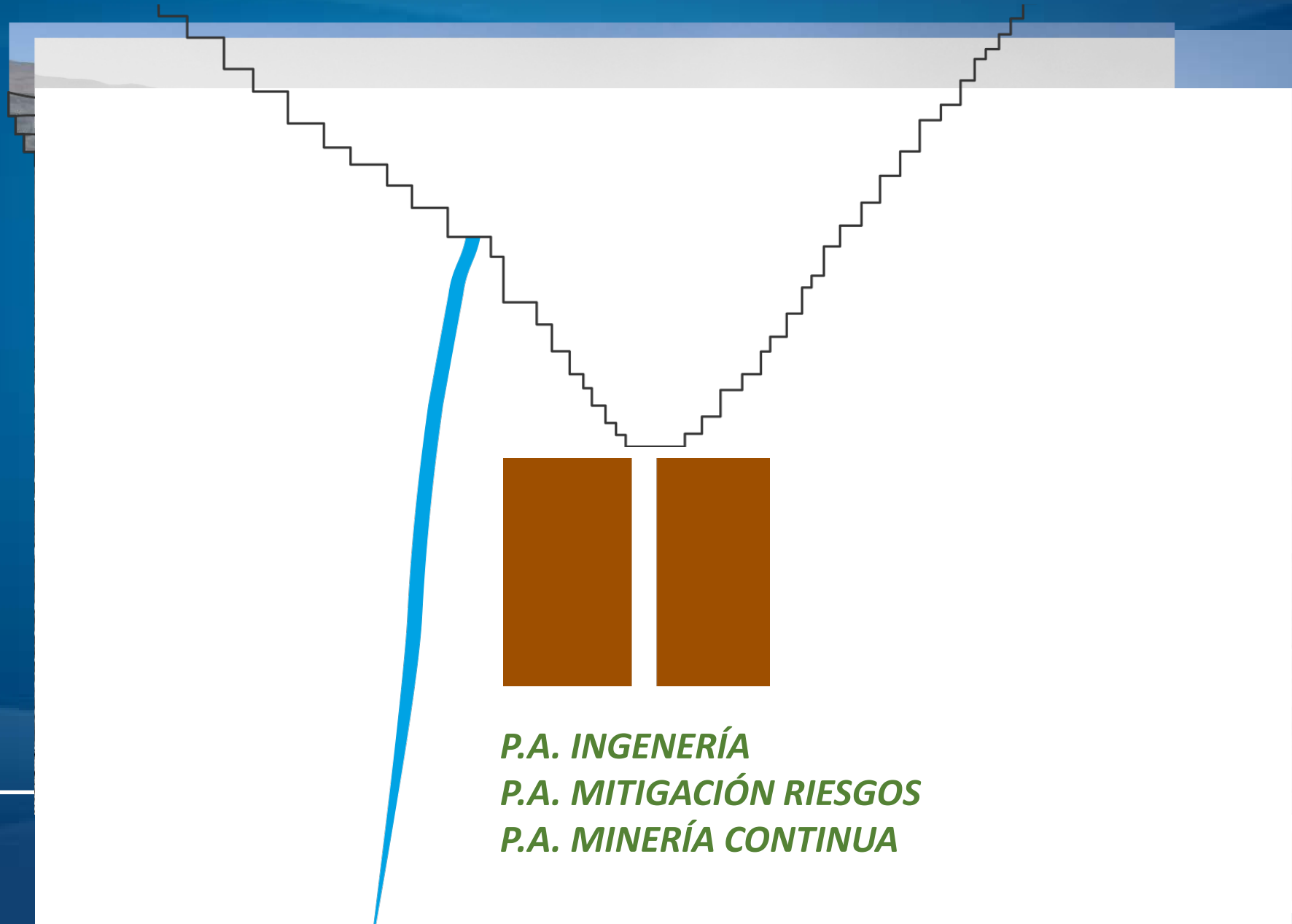


PARA LABORES A ESTAS PROFUNDIDADES EXISTEN DOS ALTERNATIVAS:

- SE APRENDE A CONVIVIR CON EL PROBLEMA
- O SE BUSCA LA SOLUCION



PROYECTO CHUQUI SUBTERRANEO

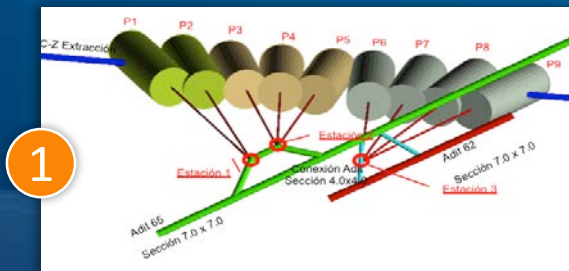
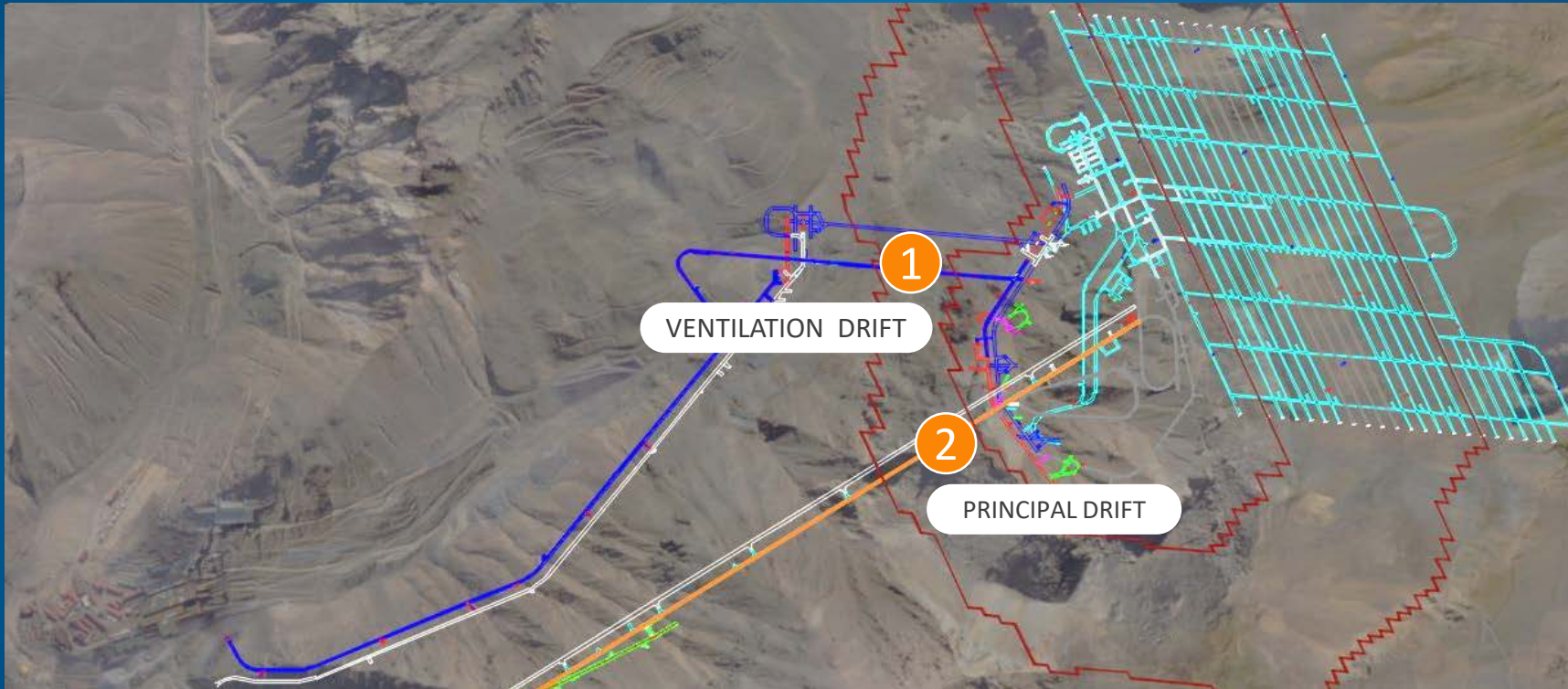


P.A. INGENERÍA

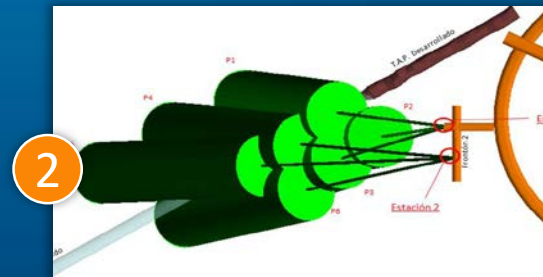
P.A. MITIGACIÓN RIESGOS

P.A. MINERÍA CONTINUA

PROYECTO NUEVO NIVEL MINA, EL TENIENTE



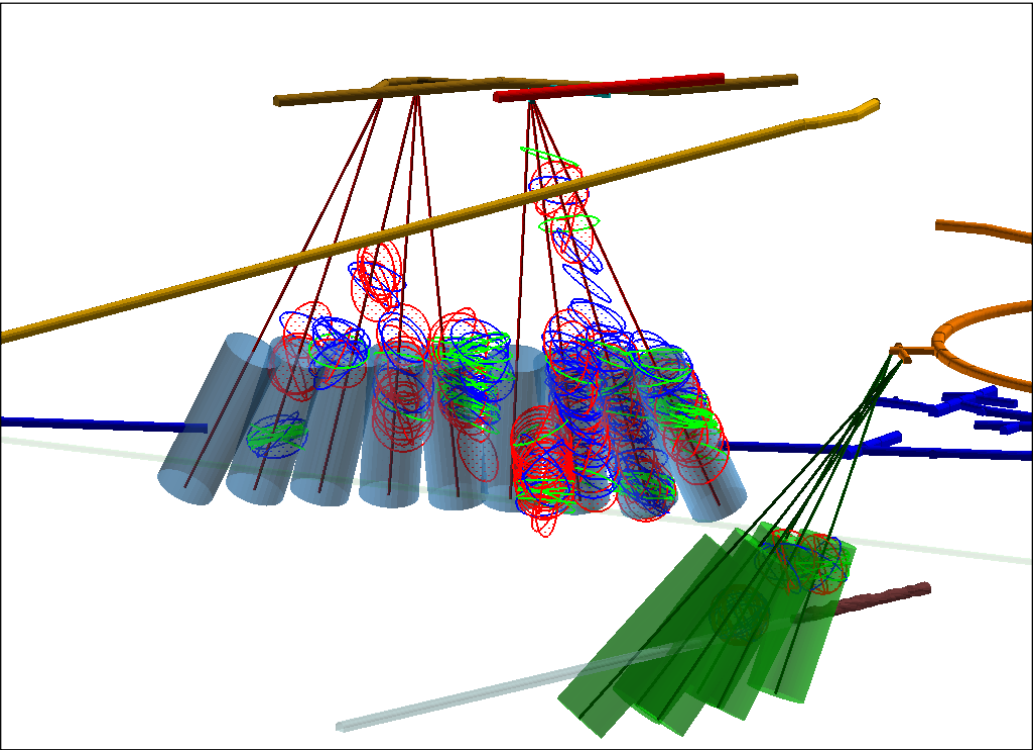
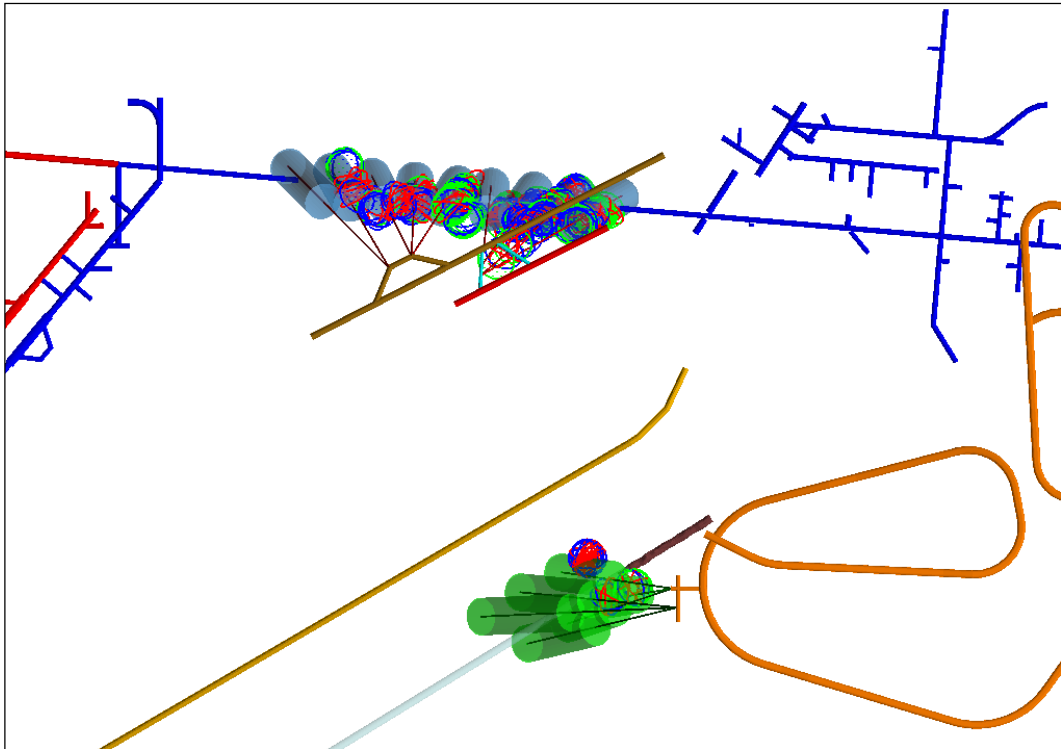
VENTILATION DRIFT



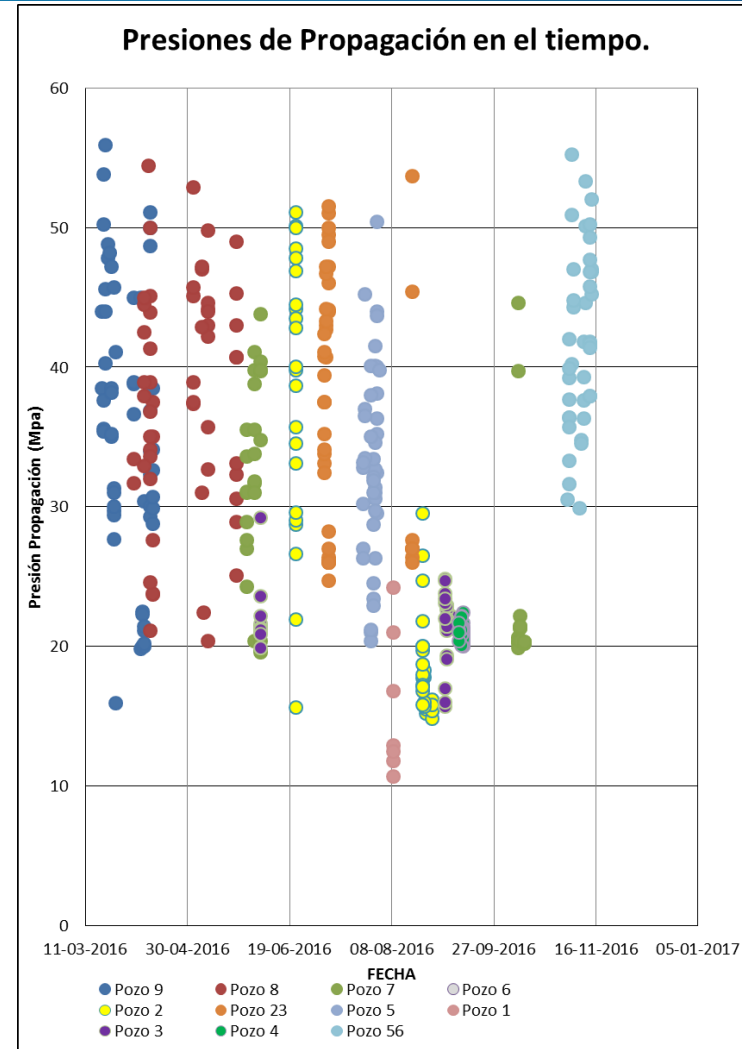
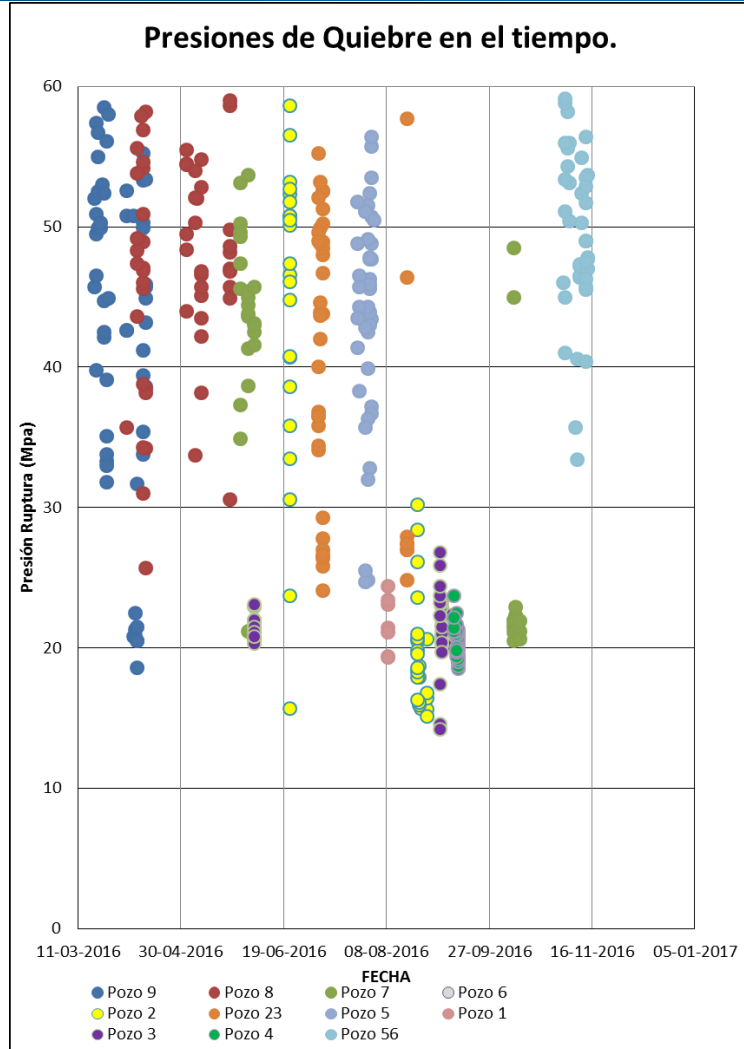
TAP INSIDE MINE AND CONVEYOR DRIFT



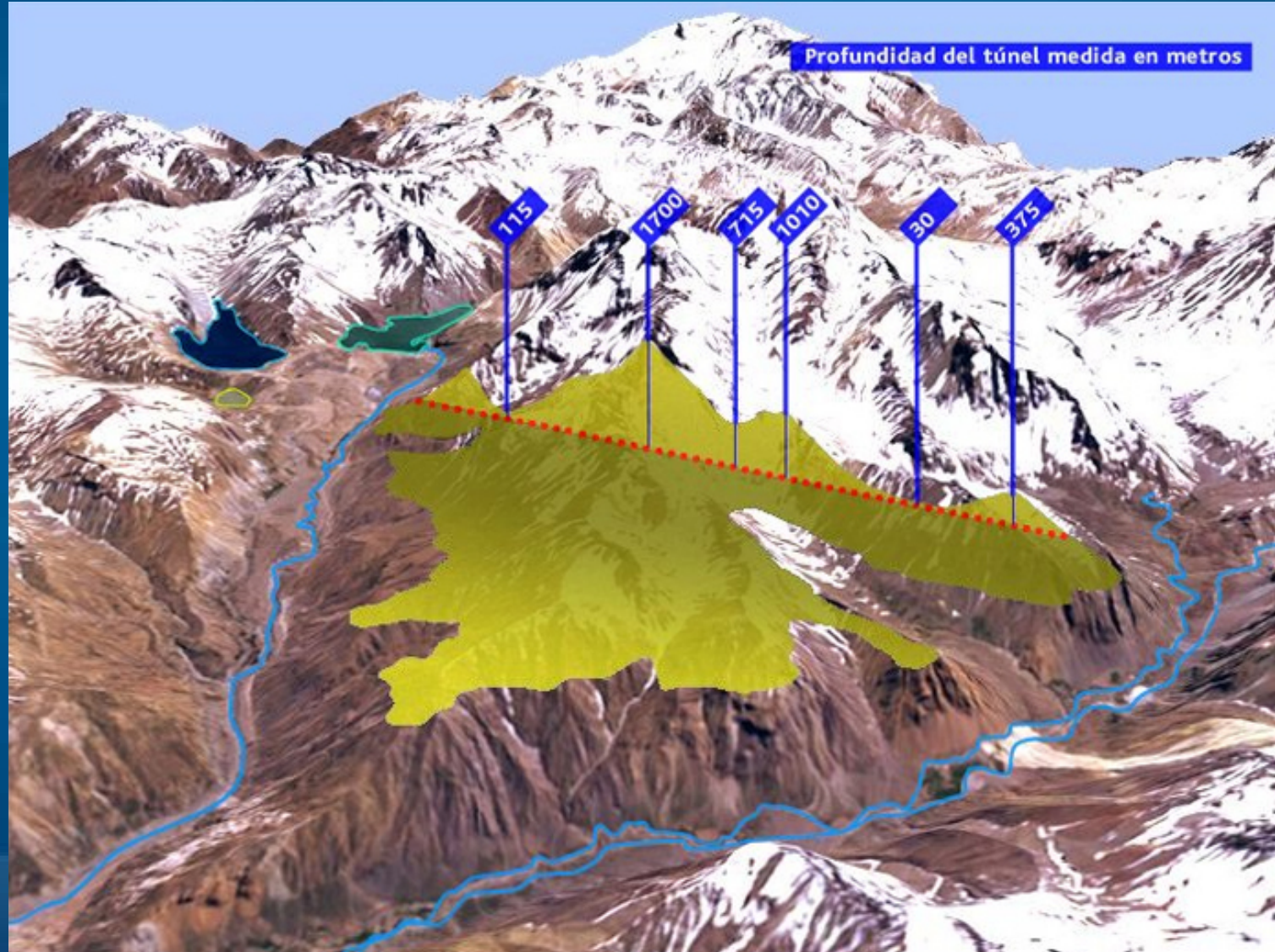
APLICACIÓN DE DESTRESSING POR FRACTURAMIENTO HIDRAULICO



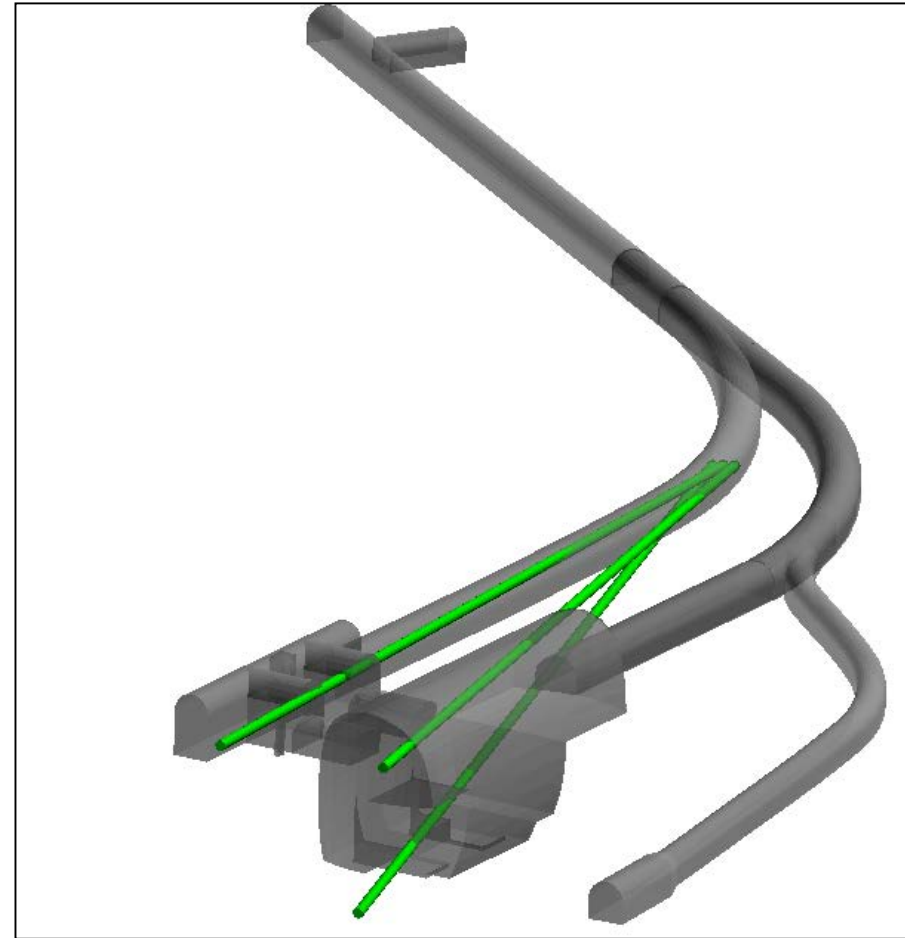
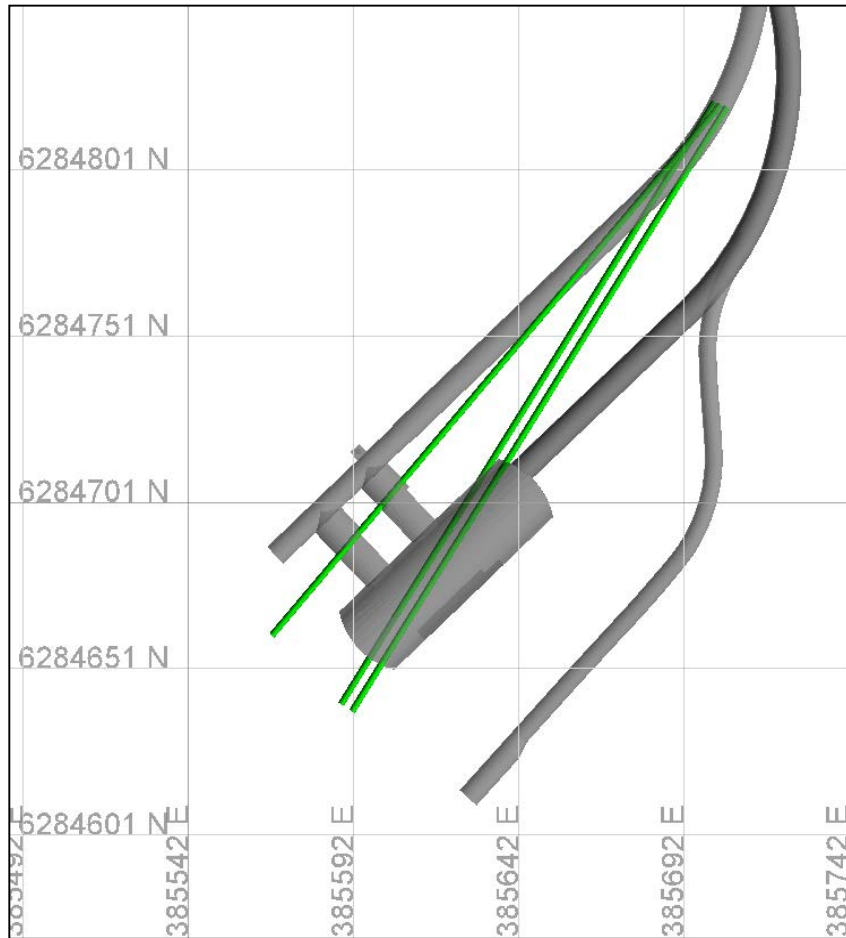
RESULTADOS APLICACIÓN DEL FRACTURAMIENTO HIDRAULICO



PROYECTO HIDROELECTRICO ALTO MAIPO



PROYECTO HIDROELECTRICO ALTO MAIPO



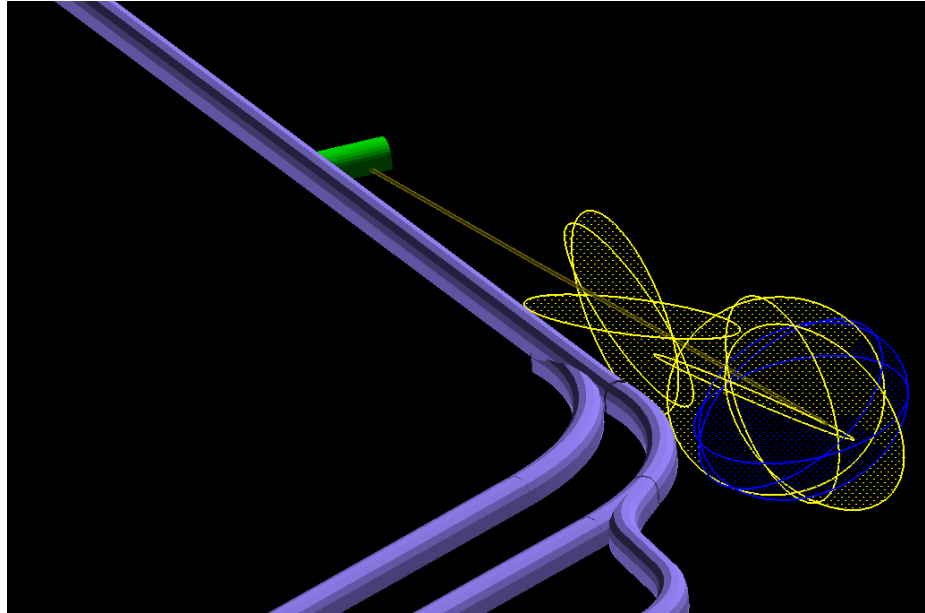
PROBLEMAS PROYECTO HIDROELECTRICO ALTO MAIPO



PROBLEMAS PROYECTO HIDROELECTRICO ALTO MAIPO

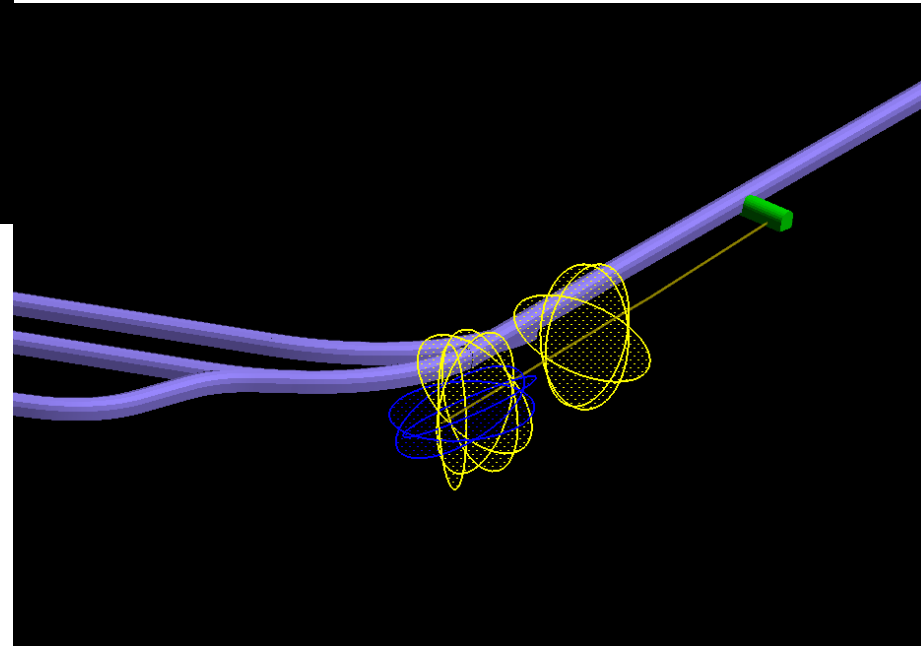


APLICACIÓN FH EN PROYECTO HIDROELECTRICO ALTO MAIPO

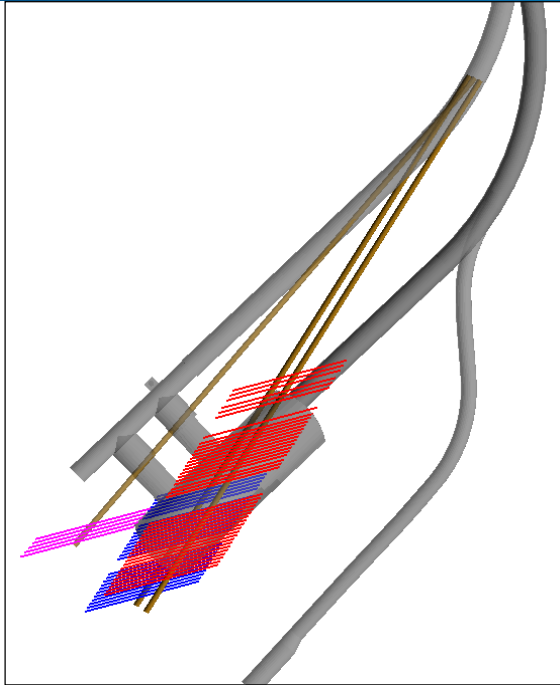


Una perforación en diámetro NQ, sub horizontal y de aproximadamente 200 m.

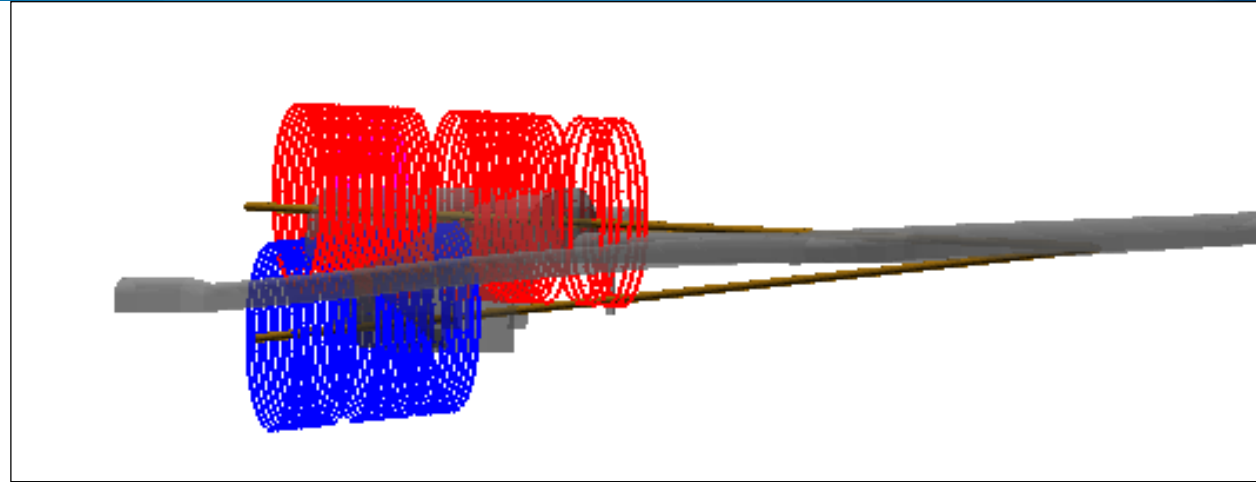
Para la representación grafica de las fracturas se considera la orientación del inicio de la fractura identificada en el televisor acústico de pozo y un radio de influencia de 20 m para cada una de las fracturas.



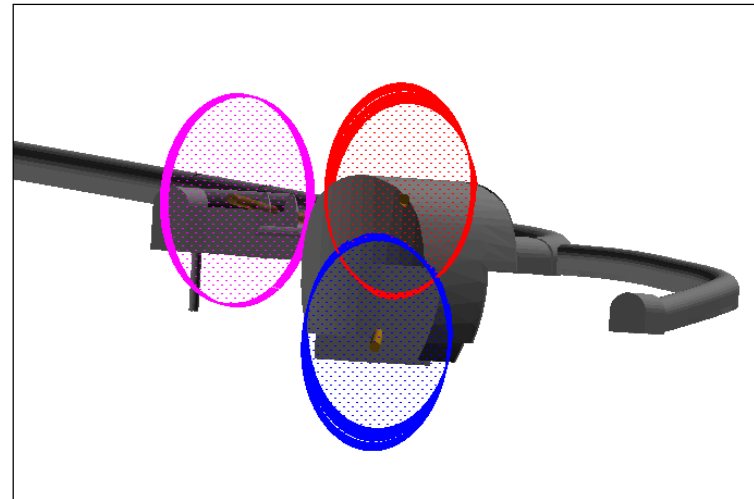
APLICACIÓN FH EN PROYECTO HIDROELECTRICO ALTO MAIPO



Vista en planta

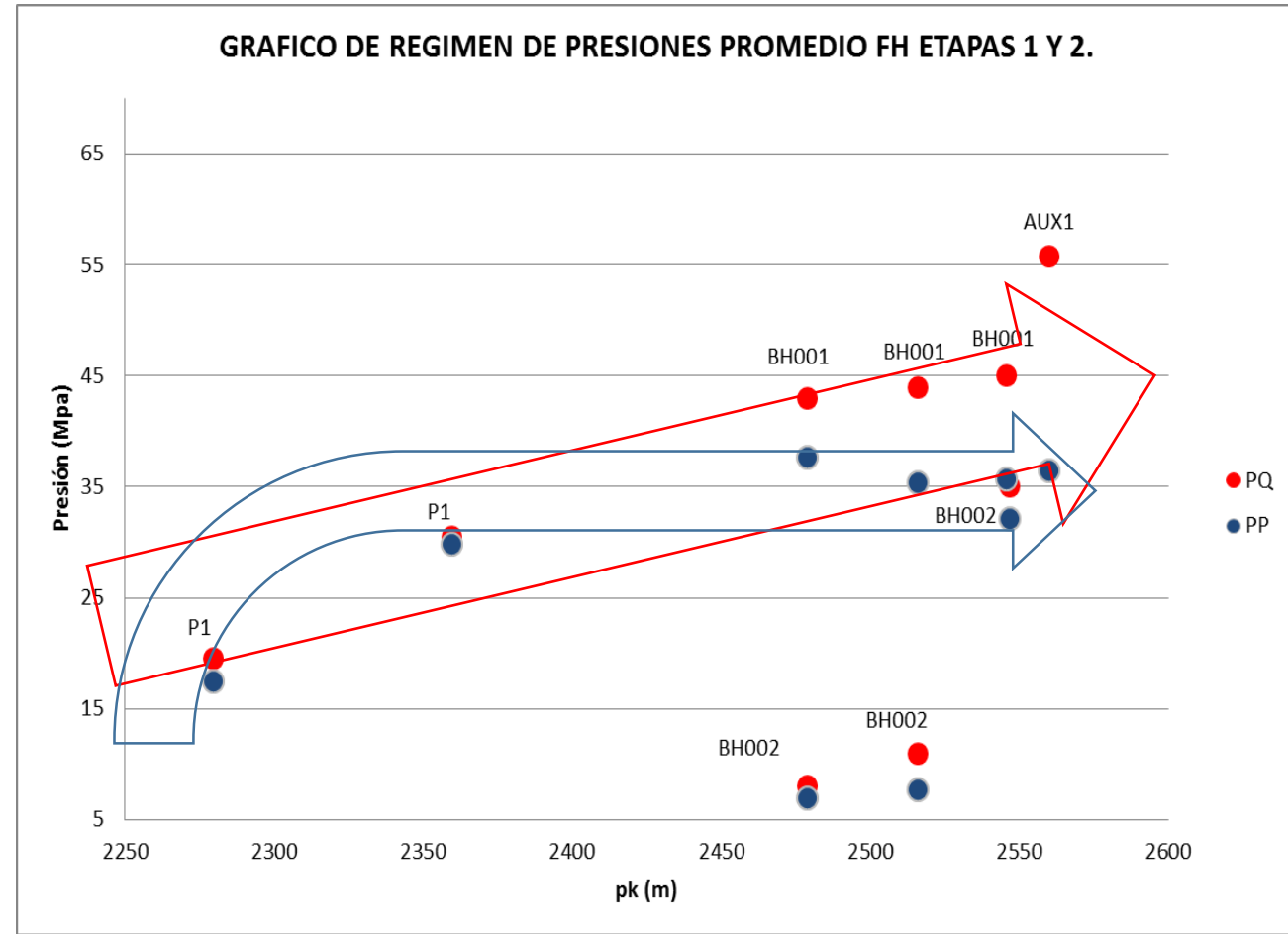
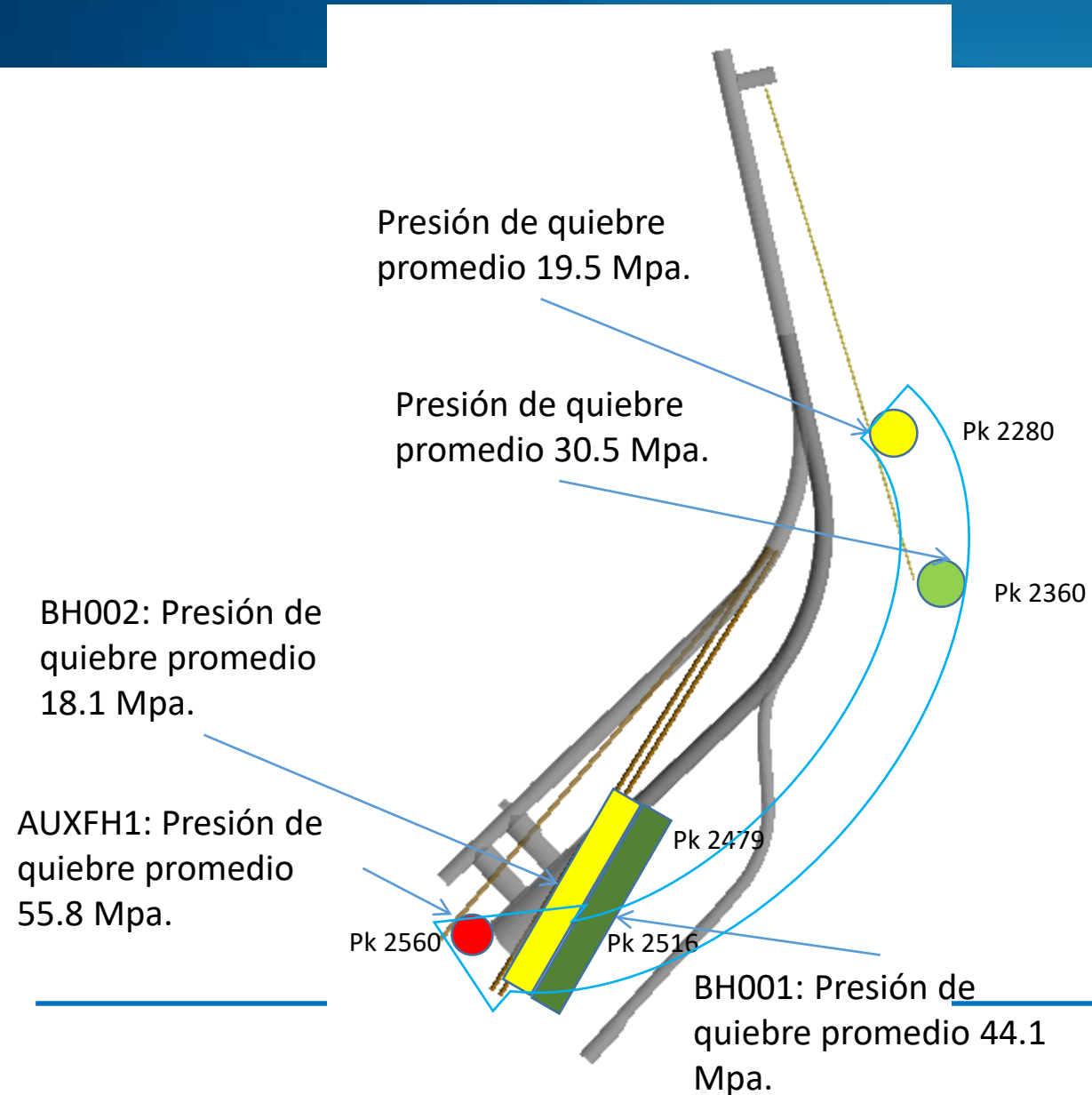


Vista isométrica



Vista frontal

RESULTADOS FH EN PROYECTO HIDROELECTRICO ALTO MAIPO



MUCHAS GRACIAS

VICTOR BARRERA SEPULVEDA

INGENIERO CIVIL MINAS

MASTER OF ENGINEERING SCIENCE MINING GEOMECHANICS